Aula

8

LIGAÇÃO METÁLICA

META

Discutir os fundamentos da ligação metálica e apresentar a Teoria das Bandas.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:
aplicar o modelo da teoria das bandas para explicar a formação da ligação metálica e distinguir um isolante, semicondutor, condutor e supercondutor.

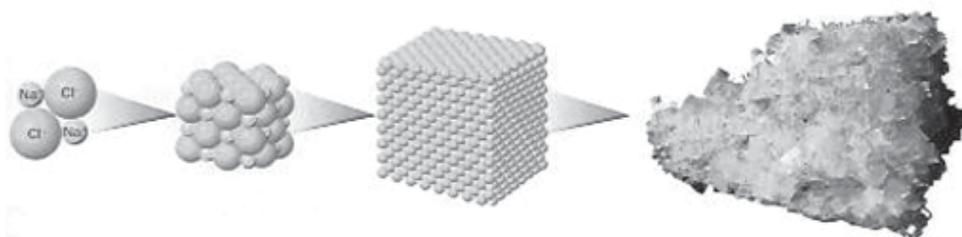
PRÉ-REQUISITOS

Conceitos básicos de ligação química;
conceitos de estrutura cristalina.

Ligação metálica (Fonte: http://www.sigmadiamant.com).

INTRODUÇÃO

O tipo mais elementar de ligação química é a ligação metálica na qual os átomos de um único elemento perdem um ou mais elétrons para um mar de elétrons. A força da ligação surge da atração desses elétrons e os cátions resultantes da saída dos elétrons. As propriedades mais conhecidas dos metais surgem da natureza dessa ligação: metais são maleáveis e dúcteis porque os elétrons podem ajustar-se rapidamente à mudança dos cátions para uma nova posição, e eles são lustrosos porque os elétrons podem responder quase livremente a uma onda incidente de radiação eletromagnética e refleti-la. Devido ao fato da ligação metálica depender da perda de elétron para um mar de elétrons ela é característica dos elementos com baixas energias de ionização, aqueles localizados à esquerda da tabela periódica, ao longo do bloco *d* e para uma parte dos elementos do bloco π que se localizam próximos ao bloco *d*.

Ligações metánicas (Fonte: http://antonionunes4.no.sapo.pt).

PROPRIEDADES GERAIS DOS METAIS

Os metais são, com freqüência, são mais densos do que outros tipos de sólidos porque o empacotamento é mais compacto. As ligações metálicas são relativamente fortes. Como resultado, a maior parte dos metais tem pontos de fusão elevados e servem como materiais resistentes e fortes para a construção.

Os metais apresentam propriedades físicas características, que podem ser resumidas como:
a. São excelentes condutores de eletricidade e de calor;
b. Apresentam brilho metálico característico, são brilhantes, lustrosos e apresentam altos índices de reflexão;
c. São maleáveis e dúcteis;
d. Apresenta estruturas cristalinas invariavelmente do tipo cúbico de empacotamento compacto, hexagonal compacto, ou cúbico de corpo centrado (como descrito na aula 5);
e. Formam ligas com facilidade.

O brilho característico dos metais se deve à mobilidade de seus elétrons. Uma onda de luz incidente é um campo eletromagnético oscilante. Quando atinge a superfície, o campo elétrico da radiação empurra os elétrons móveis para frente e para trás. Esses elétrons oscilantes emitem luz, que vemos como brilho – essencialmente a reemissão da luz incidente. Os elétrons oscilam em sintonia com a luz incidente e emitem luz com a mesma freqüência. Em outras palavras, a luz vermelha refletida por uma superfície metálica é vermelha e a luz azul é refletida como azul. Isso explica porque a imagem em um espelho – uma cobertura fina de metal sobre vidro – é um retrato fiel do objeto refletido.

A mobilidade dos elétrons dos metais explica a maleabilidade, isto é, a mudança de forma sob pressão, e a ductibilidade, isto é, a capacidade de se transformar em fios. Como os cátions estão cercados por um "mar" de elétrons, existe muito pouco caráter direcional na ligação. Isso significa que um cátion e seus vizinhos podem trocar de lugar sem muito esforço. A pancada de um martelo pode mudar um número muito grande de cátions de lugar. Os elétrons se ajustam rapidamente, para assegurar que os átomos não sejam ejetados e permaneçam em suas novas posições. Os metais são mais maleáveis do que outros sólidos: quando grupos de átomos mudam de posição, os elétrons os seguem.

As diferentes maleabilidades dos metais podem ser atribuídas as suas estruturas cristalinas. A estrutura cristalina de um metal tem, tipicamente, *planos de deslizamentos*, isto é, planos de átomos que deslizam sob pressão, uns em relação aos outros. Em conseqüência, metais com estruturas cúbicas de empacotamento compacto, como o cobre, são maleáveis. Eles podem ser facilmente curvados, achatados ou modelados em diferentes formas.

Entretanto, a principal característica do metal é sem dúvida, sua capacidade de conduzir *eletricidade e calor* devido à mobilidade dos elétrons, que mantêm unidos os átomos.

TEORIAS DE LIGAÇÃO NOS METAIS

As ligações em metais e ligas metálicas e suas estruturas não são tão bem compreendidas como aquelas existentes nos compostos iônicos e moleculares. Qualquer teoria adequada da ligação metálica deve explicar tanto a ligação entre um grande número de átomos idênticos num metal puro como a ligação entre átomos de metais (às vezes bem diferentes nas ligações metálicas). A teoria não pode ser baseada em ligações direcionais, pois muitas das propriedades metálicas permanecem mesmo quando o metal se encontra no estado líquido ou quando dissolvido num solvente adequado. Além disso, a teorias deve explicar a grande mobilidade dos elétrons. Algumas teorias tentaram explicar a ligação nos metais, como a *teoria dos elétrons livres* e a *teoria da ligação de valência*. Porém, somente a teoria dos orbitais moleculares (TOM) consegue explicar melhor a mobilidade dos elétrons.

A TEORIA DOS ORBITAIS MOLECULARES OU TEORIAS DAS BANDAS

A teoria dos orbitais moleculares em moléculas pequenas pode ser estendida para esclarecer as propriedades dos sólidos metálicos, os quais são agregações de um número virtualmente infinito de átomos. Esta aproximação é notavelmente próspera para a descrição dos metais, por isso pode ser usada para explicar suas características de brilho, sua boa condutividade elétrica e condutividade térmica e sua maleabilidade. Todas essas propriedades originam-se da habilidade dos átomos de contribuir para a formação do mar de elétrons.

O brilho e a condutividade elétrica originam-se da mobilidade desses elétrons, ou em resposta a um campo elétrico oscilante de um raio de luz incidente ou a uma diferença de potencial. A alta condutividade térmica também é conseqüência da mobilidade eletrônica, dado que um elétron pode colidir com um átomo vibrante, retirar sua energia e transferi-la a outro átomo em algum lugar no sólido. A facilidade com que os metais podem ser mecanicamente deformados é outro aspecto da mobilidade eletrônica, porque o mar de elétrons pode rapidamente reajustar-se à deformação do sólido e continuar a unir os átomos.

A condução elétrica também é característica de semicondutores. O critério para distinguir um metal e um semicondutor é a dependência de sua condutividade elétrica com a temperatura (Fig. 1):

a) Condutor metálico: é uma substância com uma condutividade elétrica que decresce com o aumento da temperatura.

b) Semicondutor: é uma substância com uma condutividade elétrica que aumenta com o aumento da temperatura.

Por outro lado, um sólido isolante é uma substância com uma condutividade elétrica muito baixa. Entretanto, quando tal condutividade pode ser medida, ela aumenta com a temperatura, como a de um semicondutor. Para alguns propósitos, deste modo, é possível desconsiderar a classificação "isolante" e tratar todos os sólidos ou como metais ou como semicondutores. Os supercondutores são uma classe especial de materiais que têm resistência elétrica zero abaixo de uma temperatura crítica, e será estudado no final da aula.

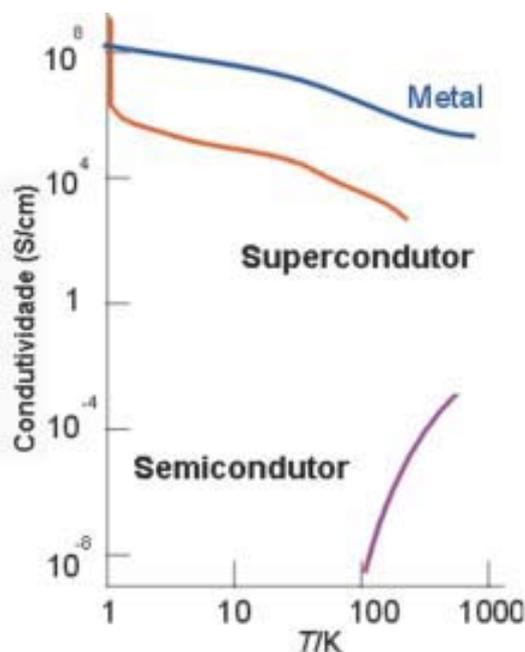



Figura 1: A variação da condutividade elétrica de uma substância com a temperatura (Fonte: bibliografia 2).

A FORMAÇÃO DE BANDAS DE ORBITAIS MOLECULARES

A idéia central por trás da descrição da estrutura eletrônica dos sólidos é que os elétrons de valência fornecidos pelos átomos são espalhados por todo o cristal. Esse conceito é expresso mais formalmente fazendo uma extensão simples da TOM, na qual o sólido é tratado como uma molécula grande indefinida. A descrição na forma de elétrons deslocali-

zados será mostrada para os metais que serão descritos em termos de Orbitais Moleculares.

FORMAÇÃO DE BANDAS PELA SOBREPOSIÇÃO ORBITAL

A sobreposição de um número grande de orbitais atômicos produz orbitais moleculares com energias muito próximas e assim formam uma banda virtualmente contínua (Fig. 2). As bandas são separadas por falhas (em inglês, band gap), que são valores de energia para os quais não há orbitais moleculares.

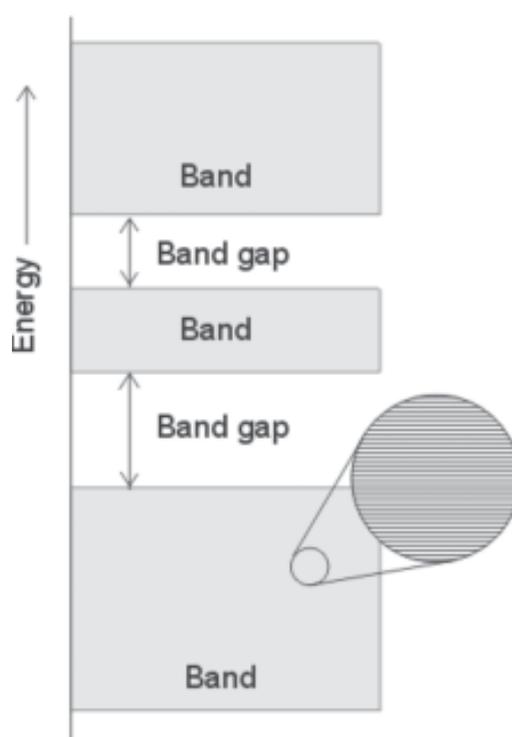



Figura 2: A estrutura eletrônica de um sólido é caracterizada por uma série de bandas de orbitais que são separados em energia, criando uma região para a qual na há qualquer orbital (Fonte: Bibliografia 2).

A formação de bandas pode ser entendida considerando uma linha de átomos, e supondo que cada átomo tem um orbital *s* que se sobrepõe ao orbital *s* de seu vizinho imediato (Fig. 3). Quando esta linha consiste somente em dois átomos, há um *orbital molecular ligante* e um *antiligante*. Quando um terceiro átomo se junta a eles, há três orbitais. O orbital central desta série é não-ligante e os outros dois estão um em baixa e o outro em alta energia, respectivamente. À medida que mais átomos são adicionados, cada um contribui com um orbital atômico e, consequentemente,

mais um orbital molecular é formado. Quando há N átomos na linha, há N orbitais moleculares. O orbital de mais baixa energia não tem nós entre os átomos vizinhos. O orbital de mais alta energia tem um nó entre cada par de vizinhos. Os orbitais remanescentes têm sucessivamente 1, 2, 3,........nós internucleares e diferentes energias entre os dois extremos.

A largura total da banda, a qual permanece finita mesmo com N aproximando a infinito (Fig. 4), depende da força de interação entre os átomos vizinhos. Quanto maior a força de interação (quanto maior o grau de sobreposição entre os vizinhos), maior a energia de separação entre o orbital sem nó e o que tem o maior número de nós. Entretanto, qualquer que seja o número de orbitais atômicos usados para formar os orbitais moleculares, as energias dos orbitais se espalham numa faixa de valores bem definidos (como mostrado na Fig. 4). Assim, a separação em energia entre os orbitais vizinhos deve aproximar-se de zero à medida que N aproxima-se do infinito; caso contrário, a faixa de energia dos orbitais não seria finita. Isto é, uma banda consiste em um número contável mas próximo a um contínuo de níveis de energia.

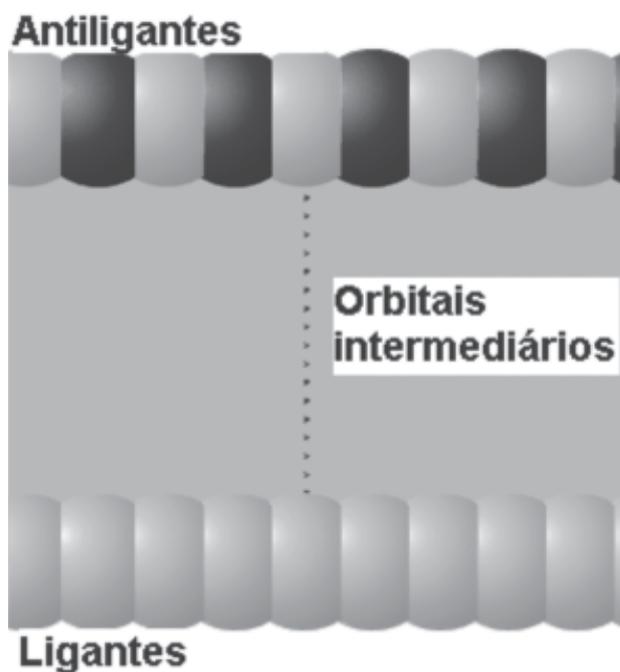



Figura 3: Uma banda é formada pelo posicionamento sucessivo de átomos, constituindo uma linha. N orbitais atômicos originam N orbitais moleculares (Fonte: Bibliografia 2).

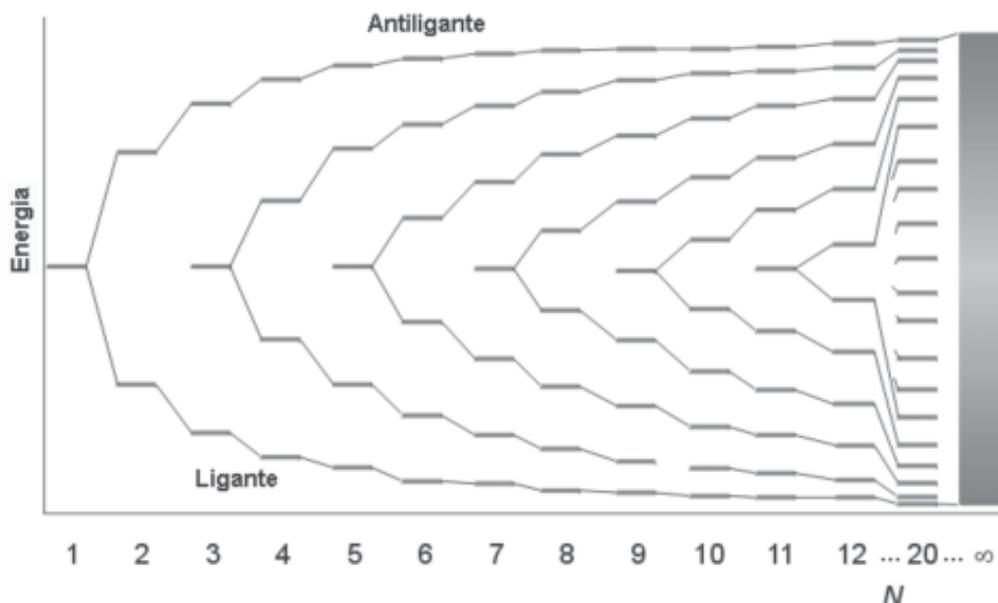



Figura 4: Energias dos orbitais que são formados quando N átomos são agrupados em linha (Fonte: bibliografia 2).

A banda ora descrita, construída a partir de orbitais *s*, é chamada de banda *s*. Se há orbitais *p* disponíveis, uma banda *p* pode ser construída pela sobreposição destes, como mostrado na Figura 5. Pelo fato de os orbitais *p* encontrarem-se em maior energia do que os orbitais *s* da mesma camada de valência, há frequentemente uma separação de energia entre a banda *s* e a banda *p* (Fig. 6). Entretanto, se as bandas se espalham por um amplo intervalo de energia e as energias dos orbitais atômicos *s* e *p* são similares (como é frequentemente o caso), então as duas bandas se sobrepõem. A banda *d* é similarmente construída da sobreposição dos orbitais d.

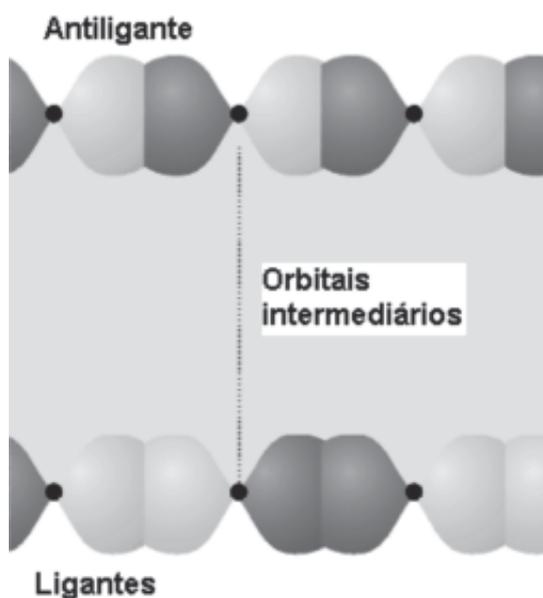



Figura 5: Exemplo de uma banda *p* em um sólido unidimensional (Fonte: bibliografia 2).

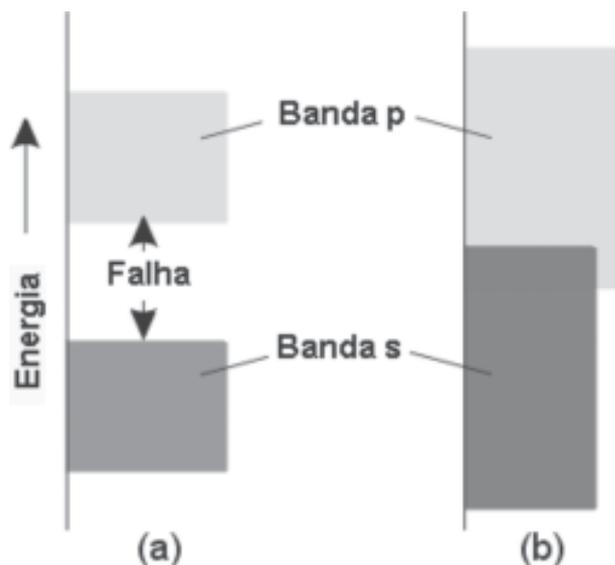



Figura 6: (a) As bandas s e p de um sólido e a separação entre eles. A existência desta separação de energia depende da separação entre os orbitais *s* e *p* dos átomos e da força da interação entre os átomos. (b) Se a interação é forte, as bandas são largas e podem sobrepor-se (Fonte: bibliografia 2).

Figura 7: Estrutura de um isolante típico: há uma grande distância de energia entre as bandas cheia e vazia (Fonte: bibliografia 2).

CONDUTORES, ISOLANTES E SEMICONDUTORES

Nos condutores elétricos (metais) a banda *s* está ou apenas parcialmente preenchida ou existe uma sobreposição das bandas *s* e *p* (também chamadas de *bandas de valência e condução*, respectivamente). Assim, não há diferença apreciável entre os OMs preenchidos e vazios, e uma pequena quantidade de energia é suficiente para perturbar o sistema.

Nos isolantes (não-metais), a banda *s* está completa e uma perturbação envolvendo níveis dentro da própria banda é impossível. Por outro lado, há uma diferença apreciável de energia (denominada de intervalo de banda ou falha) entre a banda *s* e a banda *p* vazia mais próxima. Assim os elétrons não podem ser promovidos para um nível vazio, onde eles poderiam mover-se livremente (Fig. 7).

A propriedade física característica de um semicondutor é que sua condutividade elétrica aumente com o aumento de temperatura. À temperatura ambiente, as condutividades dos semicondutores são tipicamente intermediárias às dos metais e às dos isolantes (na região de 10^3 S/cm). A linha divisória entre isolantes e semicondutores refere-se ao tamanho da energia de separação entre as bandas. Existem dois tipos de semicondutores: intrínsecos e extrínsecos.

Os semicondutores intrínsecos são basicamente isolantes onde o intervalo de energia entre as bandas adjacentes é suficientemente pequeno para que a energia térmica promova um pequeno número de elétrons da banda de valência cheia para a banda de condução vazia. Tanto o elétron promovido para a banda de condução como o elétron desemparelhado que permanece na banda de valência podem conduzir eletricidade. A condutividade dos semicondutores aumenta com a temperatura porque, à medida que aumenta a temperatura, também aumenta o número de elétrons promovidos para a banda de condução. Tanto os semicondutores do *tipo n* como os do *tipo p* são preparados dopando-se um isolante com uma impureza adequada. A banda da impureza se situa entre as bandas de valência e de condução do isolante, de modo tal que elétrons podem ser excitados da banda de valência para a banda da impureza ou vice-versa (Fig. 8).

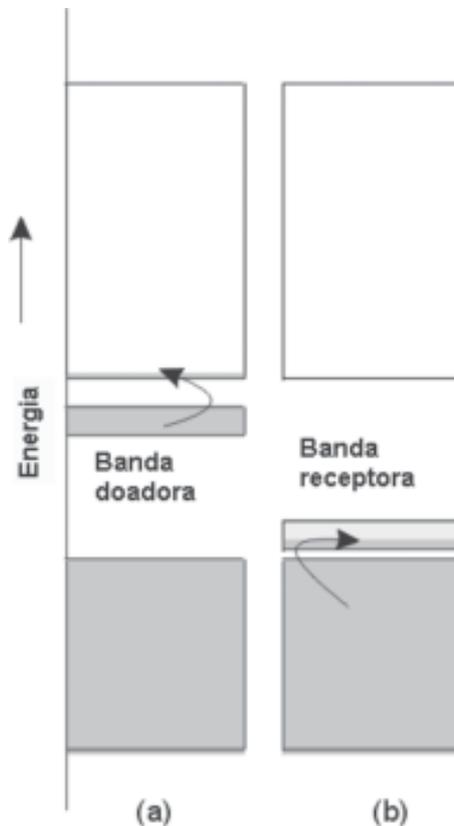



Figura 8: Estrutura de banda em (a) semicondutor do tipo n e (b) semicondutor do tipo p (Fonte: bibliografia 2).

SUPERCONDUTORES

Quando a corrente elétrica flui através de um fio, a resistência reduz a corrente e aquece o fio. A fim de manter a corrente escoando, esse "atrito" elétrico tem de ser superado adicionando-se energia ao sistema. De fato, a existência da resistência elétrica limita a eficiência de todos os equipamentos elétricos.

Em 1911, um cientista holandês, Heike Kamerlingh Onnes, descobriu que a uma temperatura muito baixa (próxima do O K) a resistência elétrica desaparece. Onnes chamou esse fenômeno de *supercondutividade*. Os cientistas, desde então, têm ficado fascinados por esse fenômeno. Infelizmente, por causa dessa exigência de uma temperatura muito baixa, tem-se usado hélio líquído para esfriar os fios. Como o hélio líquido custa caro o litro, as aplicações comerciais tornam-se muito caras para serem consideradas.

Por muitos anos os cientistas estiveram convencidos de que a supercondutividade não era possível em temperaturas mais altas (mesmo a 77 K, que é o ponto de ebulição do nitrogênio líquido). O primeiro supercondutor de alta temperatura, desenvolvido em 1986, mostrou-se com propriedades supercondutoras a 30 K. Esse material é um óxido metálico complexo com uma estrutura cristalina em forma de sanduíche, com átomos de cobre e oxigênio na parte de dentro e átomos de bário e lantânio do lado de fora.

Os cientistas tentaram imediatamente desenvolver materiais que pudessem ser supercondutores em temperaturas ainda mais altas. Para isso se apoiaram no conhecimento da tabela periódicae nas propriedades das famílias químicas. Paul Chu, da Universidade de Houston, Texas, descobriu que a temperatura crítica (T_c) podia ser aumentada comprimindo-se o óxido supercondutor. A pressão era, porém, muito alta para ter aplicação comercial, e assim ele buscou uma outra forma de aproximar as camadas do cristal. Percebeu que isso podia ser obtido substituindo-se o bário por estrôncio, um elemento da mesma família, com propriedades químicas semelhantes e um menor raio atômico. A idéia teve sucesso, a temperatura crítica passou de 30 K para 40 K. Chu, tentou, substituir o estrôncio pelo cálcio (mesma família, ainda menor), mas sem grandes avanços. O novo material tinha uma Tc menor. Em 12 de janeiro de 1987, ele substituindo o lantânio por ítrio, produziu um novo supercondutor com temperatura crítica de 95 K, bem acima dos 77 K, o que corresponde ao ponto de ebulição do nitrogênio. Esse material tem fórmula $YBa_2Cu_3O_7$ (Fig. 9) e é um bom candidato a aplicações comerciais.

Há muitas barreiras para se vencer antes que os supercondutores tenham uso amplo. O material é quebradiço e se parte facilmente, não é maleável e não conduz uma corrente muito alta por unidade de seção reta

como os condutores convencionais. Muitos pesquisadores estão trabalhando, no momento, para superar esses problemas e desenvolver os usos potenciais para os supercondutores, incluindo a levitação dos trens de alta velocidade (Figura 10), motores elétricos (em miniatura) de alta eficiência e computadores menores e mais rápidos.

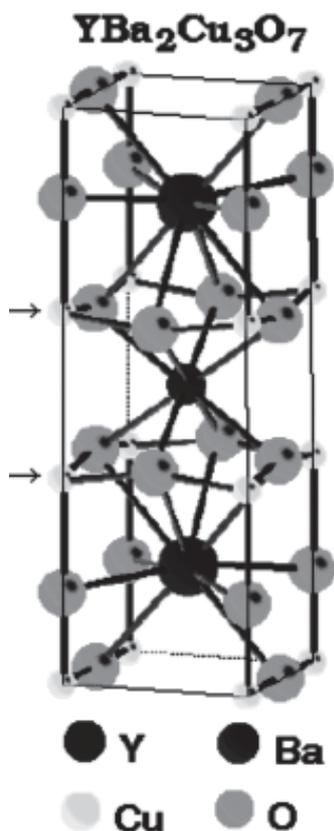



Figura 9: Estrutura do supercondutor $YBa_2Cu_3O_7$ (www.searadaciencia.ufc.br).

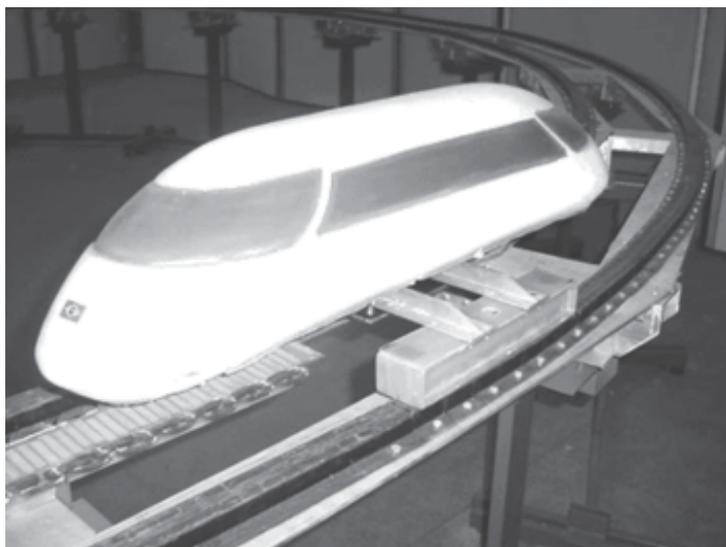



Figura 10: Protótipo de levitação magnética supercondutora, elaborada pelo Laboratório de Aplicação de Supercondutores (LASUP) da UFRJ (www.dee.ufrj.br/lasup).

LIGAS METÁLICAS

As ligas são materiais metálicos que são misturas de dois ou mais metais. Elas são usadas com muitas finalidades, como na construção; são essenciais na indústria do transporte e eletrônica (Fig. 11). A Tabela 1 lista algumas ligas comuns. Nas ligas homogêneas, átomos de elementos diferentes se distribuem uniformemente. São exemplos o latão, o bronze e as ligas de cunhagem. As ligas heterogêneas, como a solda estanho-chumbo e o amálgama de mercúrio que era usado pelos dentistas, por exemplo, são misturas de fases cristalinas com composições diferentes.

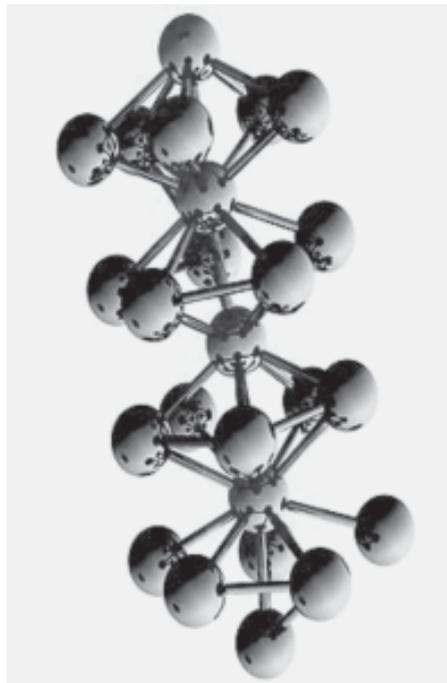



Figura 11: Menor liga metálica composta de um fio de ouro e prata com o comprimento de apenas três átomos, descoberto por pesquisadores da Unicamp e do LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncroton) (Fonte: www.unicamp.br).

Tabela 1: Composição de ligas comuns.

Liga	Composição em percentagem de massa
Latão	até 40% de zinco em cobre
Bronze	um outro metal que não zinco ou níquel em cobre (bronze para fundição: 10% de Sn e 5% de Pb)
Cuproníquel	níquel em cobre (cuproníquel de cunhagem: 25% de níquel)
Peltre	6% de antimônio e 1,5% de cobre em estanho
Solda	estanho e chumbo
Aço inoxidável	acima de 12% de cromo em ferro

As estruturas das ligas são mais complicadas do que as do metal puro, porque elas são formadas por dois ou mais tipos de átomos de metal com raios diferentes. O problema de empacotamento, agora, é com o de um lojista tentando empilhar juntos laranjas e melões.

Como os raios os dos metais dos elementos do bloco d são todos semelhantes, seu problema de empilhamento é facilmente resolvido. Eles formam entre si um grande número de ligas, porque um tipo de átomo pode substituir o outro com muito pouca distorção na estrutura do cristal original. Um exemplo é a liga de cobre e zinco usada em moedas de "cobre". Como os átomos de zinco têm quase o mesmo tamanho dos de cobre e têm propriedades eletrônicas semelhantes, eles podem substituir alguns dos átomos de cobre do cristal. Uma liga na qual os átomos de um metal são substituídos por átomos de outro metal é chamada de liga substitucional. Portanto, embora uma mistura substitucional tenha condutividade térmica e elétrica mais baixa que o elemento puro, é mais forte e mais dura.

O aço é uma liga que contém cerca de 2% ou menos de carbono em ferro. Os átomos de carbono são muito menores do que os átomos de ferro e não podem, portanto, substituí-lo no retículo cristalino. Eles são tão pequenos que podem se acomodar nos interstícios, ou buracos, do retículo do ferro. O material resultante é chamado de liga intersticial. Para dois elementos formarem uma liga intersticial, o raio atômico do elemento que é o soluto deve ser inferior a 60% do raio atômico do elemento hospedeiro. Os átomos intersticiais interferem na condutividade elétrica e no movimento dos átomos que formam o retículo. Esse movimento restrito torna a liga mais dura e mais forte do que o metal hospedeiro puro.

Algumas ligas são mais macias do que os metais que a compõem. A presença de átomos de bismuto, que são volumosos, ajuda a amaciar um metal e abaixar seu ponto de fusão, como melões iriam desestabilizar um pilha de laranjas, porque não se ajustam bem. Um liga de chumbo, estanho e bismuto de baixo ponto de fusão é usada para controlar os borrifadores de água usados em certos sistemas de extinção de incêndios. O calor do fogo derrete a liga e ativa os borrifadores antes que o fogo possa se espalhar.

CONCLUSÃO

Ao finalizar este capítulo você deverá ser capaz de:
1. Compreender a formação da ligação metálica utilizando os conceitos da Teoria do Orbital Molecular ou Teoria das Bandas;
2. Aplicar a Teoria das Bandas para o entendimento da condutividade elétrica e térmica nos materiais metálicos, através da mobilidade de elétrons entre a banda de valência (banda *s*) e a banda de condução (banda *p*);
3. Distinguir entre um material isolante, condutor, semicondutor ou supercondutor;
4. Reconhecer uma liga metálica e sua composição, bem como suas aplicações nas indústrias e no cotidiano.

RESUMO

A Teoria do Orbital Molecular (TOM) aplicada à ligação metálica, também é conhecida como Teoria das Bandas. Essa teoria está fundamentada na descrição da estrutura eletrônica de sólidos que têm seus elétrons de valência "espalhados" por toda estrutura atômica conjunta e não mais agregados a um único átomo. O conceito é aplicado entendendo que o sólido é uma molécula infinitamente grande e os orbitais moleculares são as superposições (somas) dos orbitais atômicos, formando uma grande nuvem eletrônica.

Uma substância será um isolante elétrico se os elétrons da banda preenchida estiverem uma grande *falha* (band gap) considerável da banda vazia. Semicondutores são substâncias que tem condutividade elétrica entre a dos condutores e dos isolantes, ao contrário dos condutores elétricos tem como característica o aumento de condutividade elétrica com o aumento da temperatura. Os materiais classificados como supercondutores são bons condutores de eletricidade e suas condutividades aumentam à medida que a temperatura diminui.

ATIVIDADES

1. Responda se os seguintes sistemas são prováveis semicondutores do tipo **n** ou do tipo **p**: (a) germânio dopado com arsênio; (b) germânio dopado com gálio; (c) germânio dopado com silício.
Resolução: (a) semicondutor do tipo n; (b) semicondutor do tipo p; (c) nenhuma das duas classificações.
2. A descrição da ligação metálica como um "mar de elétrons" é adequada para explicar a formação da ligação e suas propriedades?

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. O arsênio é um elemento do Grupo 15/V com cinco elétrons na camada de valência e funciona como um elemento doador de elétrons. Por outro lado, o gálio é um elemento do Grupo 13/III com três elétrons na camada de valência e funciona com receptor de elétrons do elemento germânio. O silício se encontra mesmo grupo que o germânio (Grupo 14/IV) não atuando como receptor e nem como doador de elétrons.
2. Como foi analisada na aula, essa descrição é totalmente inadequada para explicar a formação da ligação metálica. Mas, foi de fundamental importância para a formação dos orbitais moleculares e a Teoria das Bandas, bem como na concreta explicação das propriedades desses compostos.

AUTO-AVALIAÇÃO

1. Utilizando a Teoria das Bandas, represente os orbitais moleculares da ligação metálica composta por átomos de berílio (Be_n). Be (Z= 4).
2. Explique o que são condutores, isolantes e semicondutores através da Teoria das bandas. Esquematize as bandas.
3. Explique como a dependência em relação à temperatura da condutividade elétrica pode ser usada para distinguir um condutor metálico, semicondutor e um supercondutor.
4. Responda se os seguintes sistemas são prováveis semicondutores do tipo n ou do tipo p: (a) germânio dopado com arsênio, (b) germânio dopado com gálio, (c) germânio dopado com silício.
5. A condutividade elétrica do bismuto é $9,1.10^5$ $S.m^{-1}$ a 273 K, $6,4.10^5$ $S.m^{-1}$ a 373 K, e $7,8.10^5$ $S.m^{-1}$ a 573 K. Que tipo de material é o bismuto? Dado: Bismuto funde a 271° C.

6. A condutividade do VO aumenta rapidamente com o aumento da temperatura até 125 K, e atinge $1,0.10^{-4}$ $S.m^{-1}$. A cerca de 125 K a condutividade aumenta abruptamente para $1,0.10^{2}$ $S.m^{-1}$ e então decresce lentamente para cerca de $5,0.10^{1}$ $S.m^{-1}$ próximo a 400 K. Como você classificaria as formas de VO:
a) a baixa temperatura;
b) a alta temperatura.
7. O que é supercondutividade? Quais são as aplicações e possíveis aplicações dos materiais supercondutores? Que tipos de materiais apresentam propriedades supercondutoras?
8. O silício pode ser dopado com pequenas quantidades de fósforo para criar um semicondutor usados em transistores.
a) A liga é intersticial ou substitucional? Justifique sua resposta.
b) Que diferenças você espera entre as propriedades do material dopado e do silício puro?
9. A condutividade elétrica da grafite também pode ser explicada pela Teoria das Bandas?

PRÓXIMA AULA

Química dos elementos e compostos dos Grupos 17/VII e 18/VIII.

REFERÊNCIAS

MAHAN, B. M.; MYERS, R. J. **Química um curso universitário**. 4 ed. São Paulo, Editora Edgard Bücher LTDA, 1995.
SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W.; LANGFORD, C. H. **Inorganic Chemistry**. 2 ed. Oxford, Oxford University Press. 1994.
BARROS, H.L.C. **Química inorgânica, uma introdução**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1995.
LEE, J. D. **Química Inorgânica não tão concisa**. 5 ed. Editora Edgard Blücher, 1997.
ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química.** Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3 ed. Editora Bookman, 2006.